

実環境下における皮膚温と温冷感の変動

飯田美奈子・永村 一雄

Changing of The Skin Temperature and The Thermal Sensation under The Realistic Environment

MINAKO IIDA and KAZUO EMURA

1 はじめに

非定常温熱環境下での人体の応答特性の推定に関する研究は、これまでに数多くおこなわれてきた。堀越ら¹⁾や堀江ら²⁾の研究では、一定の拘束条件下での人体システムの線形性を仮定したものであった。その後、応答関数の推定にボルテラ汎関数級数を適用するという永村³⁾の研究によって、非線形性への拡張も可能となった。本報では、皮膚表面温度と全身温冷感の実験データをもとに、線形、非線形のふたつのモデルによる応答特性の推定を試みた。

2 実験の概要

大阪市立大学生活科学部の構内を利用し、温熱環境の変化にともなう皮膚温と温冷感の応答特性を調べた。被験者は健康な女子大生2名で、1995年4月6～14日の間に2種類の実験をおこなった。実験は開放型ガスストーブ2台で暖房した一般の研究室と廊下(条件Ⅰ)、同じく研究室と手洗い場(条件Ⅱ)の温度差を利用しておこなった。図1にタイムテーブルを示す。なお、すべての実験において、被験者は実験開始1時間前から終了まで飲食を控えている。

周辺温度は、足もと(床上約100mm)と肩(床上約1300mm)付近の2点で計測し、その平均値を平均空気温度とした。研究室内の温度はなりゆきに任せ、できるだけ日常生活に近い状態での計測をおこなった。各実験条件下での空気温度の経時変化を図2に示す。

皮膚温はサーモレコーダーRT10(測定精度：平均±0.3℃)を用いて、Hardy & DuBois⁴⁾の7点を10秒間隔で計測した。各実験条件下での部位別皮膚温と平均皮膚温の変動を図3(a)～(d)に示す。

全身温冷感は基本的に5分間隔、ただし移動直後5分間は1分ごとに申告させた。申告に用いた尺度を表1に示す。

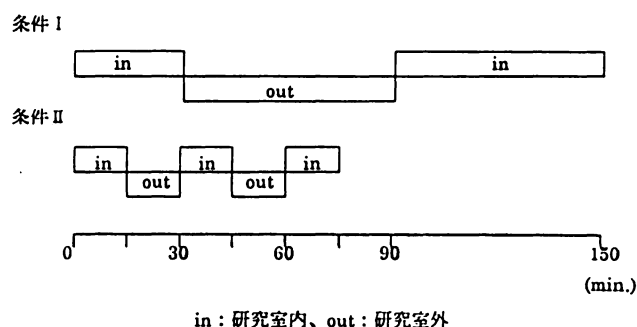


図1 タイムテーブル

表1 全身温冷感申告スケール

1	非常に寒い
2	寒い
3	少し寒い
4	どちらでもない
5	少し暑い
6	暑い
7	非常に暑い

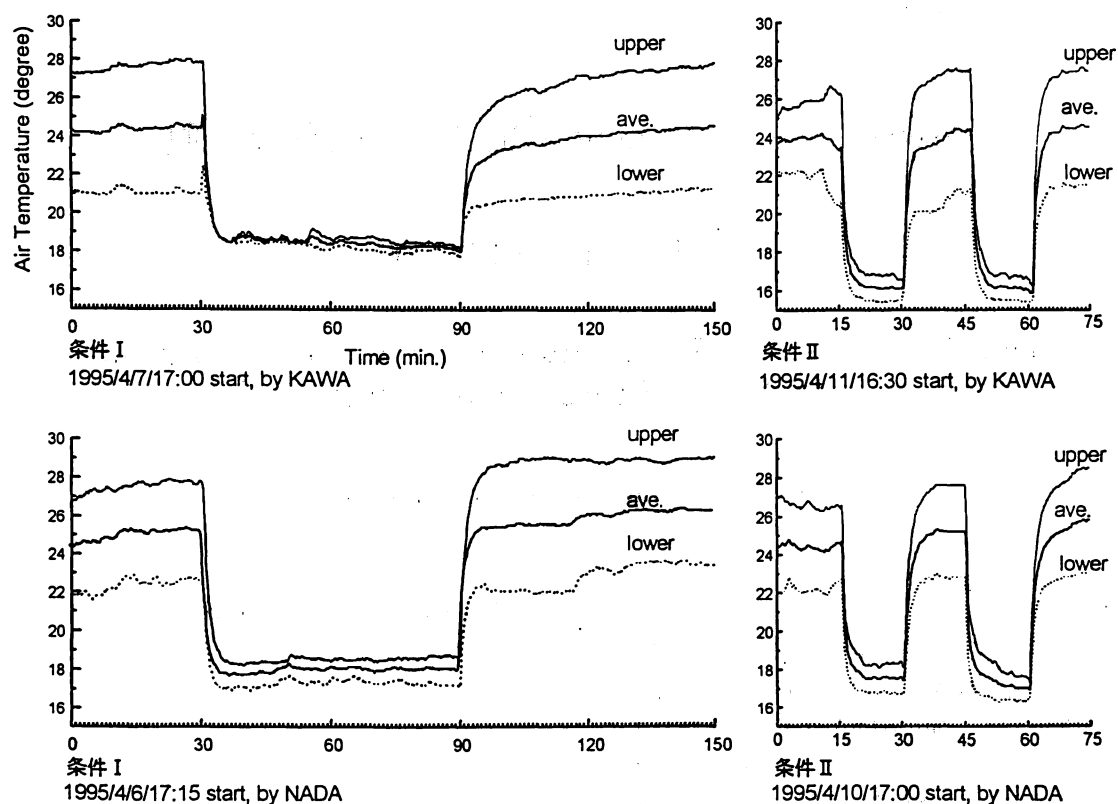


図2 空気温度の経時変化

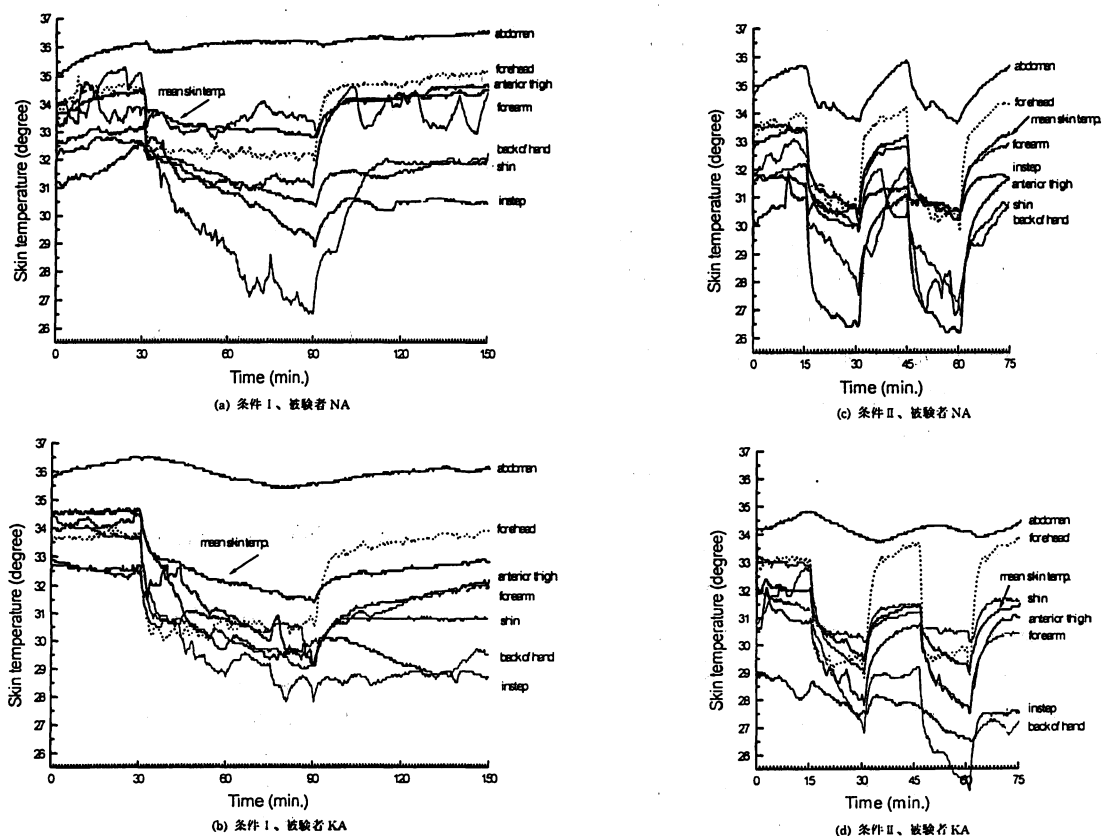


図3 部位別皮膚温と平均皮膚温の変動

3 応答特性の推定

各実験で得られたデータをもとに、局部皮膚温、平均皮膚温と全身温冷感の応答特性を、線形、非線形の両モデルにより推定する。

ただし、非線形系の応答特性関数の推定にはボルテラ汎関数級数を適用し、次のことを仮定している。(1)時不変系、(2)因果系であること、(3)記憶履歴の指数関数的減衰、(4)入力振幅の有界性、(5)入力変化に対する出力変化の連続性。記憶履歴の有限整定時間は、推定値と実測値の二乗誤差が最小になる最適値を探りながら決定した。

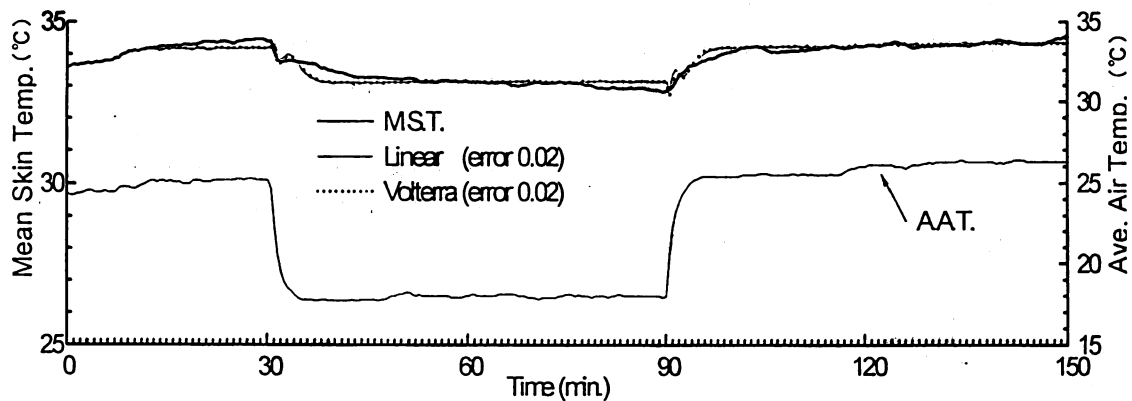
3.1 条件Ⅰ－被験者NAの場合

被験者NA（着衣量0.98clo）が1995年4月14日におこなった条件Ⅰのデータをもとに、平均皮膚温と温冷感申告値の応答特性を調べた。

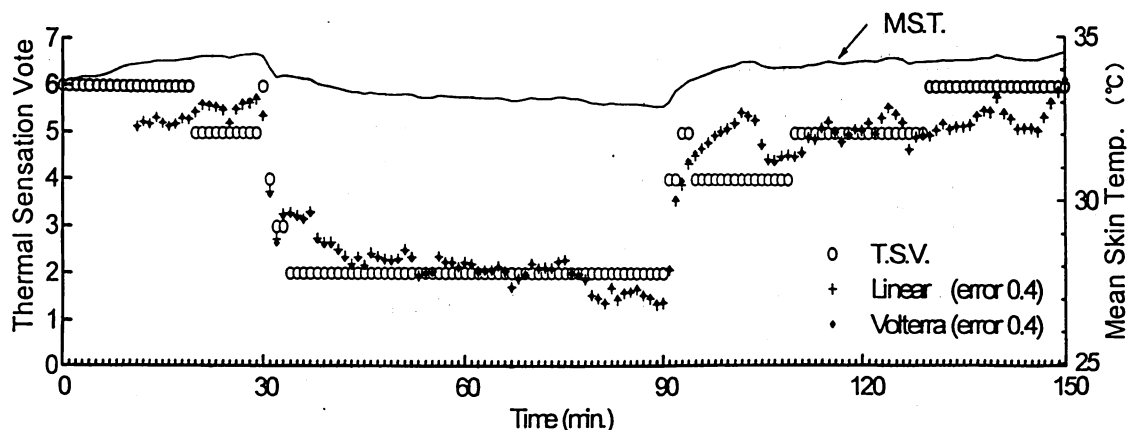
実験はあらかじめ2台のストーブで暖めておいた研究室（2階北向き）と、研究室前の廊下（中廊下式）を利用

しておこなった。実験中の姿勢は基本的に椅座安静状態である。

図4-aは入力に平均空気温度、出力に平均皮膚温、図4-bは入力に平均皮膚温、出力に温冷感申告値を設定し、線形モデルと非線形ボルテラモデルによる推定をおこなった。繰り返し推定の結果、記憶時間の最適値は10分程度であると判断した。a、bともにモデルによる推定精度の差はほとんどなく、二乗誤差は平均皮膚温で0.02、申告値で0.4程度であった。平均皮膚温に関して、特に誤差が大きくなっているのは廊下での60分間であり、徐々に低下し続ける実測値に対して、推定値は最初の10分以降定常状態になっている。この原因として、推定モデルが前述の仮定(1)より時変性を考慮できない構造であることが指摘され、平均皮膚温の応答の遅れが正確に再現できない。全身温冷感に関しては、離散型の実測値に対して、前述の仮定(5)より推定値は連続となり、二乗誤差も大きくなっている。



(a) 平均空気温度に対する平均皮膚温の変動



(b) 平均皮膚温に対する全身温冷感の変動

図4 条件Ⅰ，被験者NAの場合

3.2 条件II－被験者KAの場合

被験者KA(着衣量0.73clo)が1995年4月11日におこなった条件IIのデータをもとに、平均皮膚温と全身温冷感、さらに局所皮膚温として前額温と下腿前温をくわえ、計4種類の応答特性を調べた。

条件IIでは曝露間隔を15分間に縮め、条件Iと同様の研究室と1階にある手洗い場を使用した。基本的な実験中の姿勢は、研究室内で椅座安静、手洗い場では立位安静とした。皮膚温と温冷感の計測は条件と同じである。

図5の(a)では入力に上方空気温度、出力に前額温を、(b)は入力に下方空気温度、出力に下腿前温を、(c)は入力に平均空気温度、出力に平均皮膚温を、(d)は入力に平均皮膚温、出力に全身温冷感申告値を設定し、条件Iと同様の推定をおこなった。繰り返し推定の結果、記憶時間は3～4分程度が最適であると判断した。図5でも線形、非線形のモデルによる推定精度に大きな差異はみられない。図5の(a)、(b)、(c)を比較すると、平均皮膚温より局所皮膚温の方が推定値のあてはまり具合がよい。これは平均皮膚温の方により大きな応答の遅れが生じているためであろう。(d)の温冷感については、高い精度で応答特性が再現されている。それぞれの二乗誤差は図中に示すとおりである。

4. まとめ

本報では、非定常温熱環境下での表面皮膚温と全身温

冷感の応答特性を、線形系、非線形系の双方から推定することを試みた。その結果、本実験のような条件下では非線形の寄与具合は極めて低く、解析的には便宜上、皮膚温、温冷感ともに熱的な線形システムであると考えてよい。さらに推定精度を高めようとするならば、平均皮膚温の応答特性にみられた時変性の影響を考慮できるモデルを提案することが重要であろう。

参考文献

- 1) 堀越 哲美, 小林 陽太郎, 川越 和則: 気温変動に対する人体皮膚温の重み関数の実験的計算方法について—離散フーリエ変換を用いたデジタルフィルタによる計算—, 日本建築学会大会学術講演梗概集(東北), 107 / 108, 1982
- 2) 堀江 悟郎, 桜井 美政, 松原 斎樹, 森本 宏: 変動室温に対する皮膚温, 温冷感, 不快感のインパルス応答, 日本建築学会大会学術講演梗概集(東海), 723 / 724, 1985
- 3) 永村 一雄: 室内温熱環境下における人体生理・心理反応の非線形応答特性の推定, 日本建築学会東海支部研究報告, 273 / 276, 1988
- 4) J. D. Hardy and E. F. DuBois: Technic of Measuring Radiant and Convection, Journal of Nutrition, Vol. 15, No.5, 461 / 475, 1937

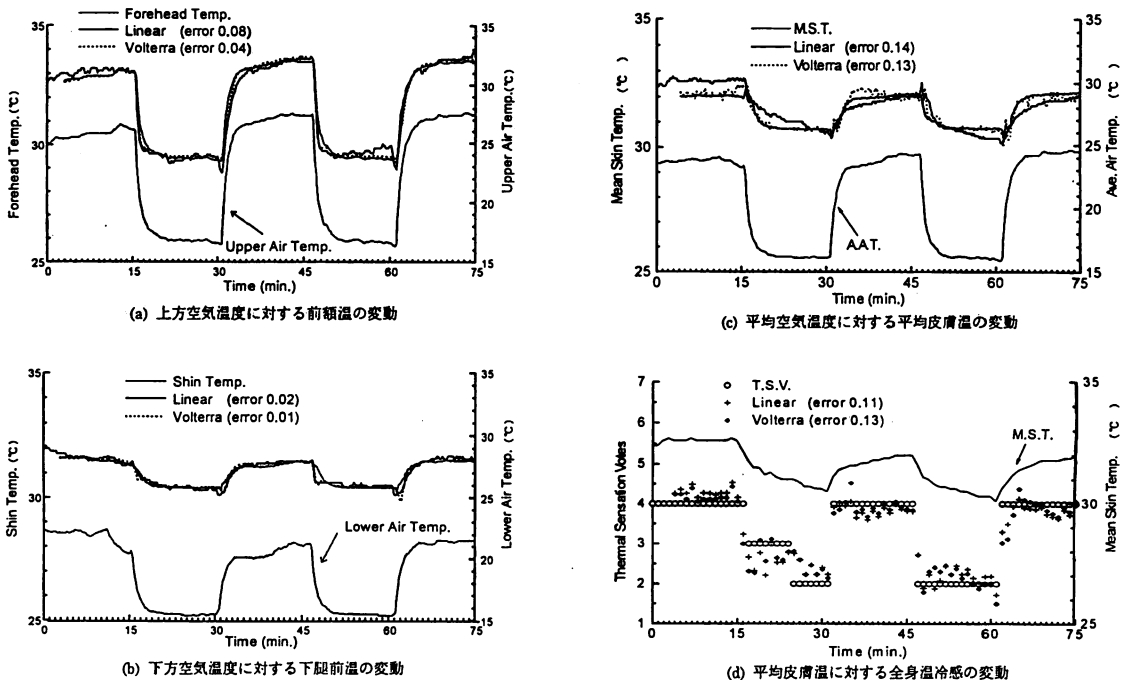


図5 条件II, 被験者KAの場合

Summary

This paper observes the surface skin temperatures and the thermal sensation about 2 female subjects in the changing indoor temperature and estimates their response functions by two simulation models; one is linear and another is non-linear. There is little difference in estimated values by two kinds of the weight functions, the linear and the non-linear, which express the response characteristics with a high accuracy. It follows from this paper that the responses of both the skin temperature and the thermal sensation vote can be assumed to be the linear system only in the limited range.

In the experiment, the subjects move between a study room and a passage in front of the room or between the study room and a washroom at regular intervals. There is about 8 degrees difference in air temperature between in the room (23 - 26°C) and out of the room (15 - 18°C).